

# CONTACTLESS LIMB VOLUME MEASUREMENT

**Ludmila Zahradníčková**

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xzahra20@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Jiří Sekora

E-mail: sekora@feec.vutbr.cz

**Abstract:** Determination of the extent and state of a limb edema is based on information about its current volume. There are a number of methods for volume measurements, but they are time-consuming, expensive or not accurate enough. The aim of the project is to design own device for a contactless limb volume measurement with an ultrasonic module. The whole positioning and scanning system is controlled by a microcontroller.

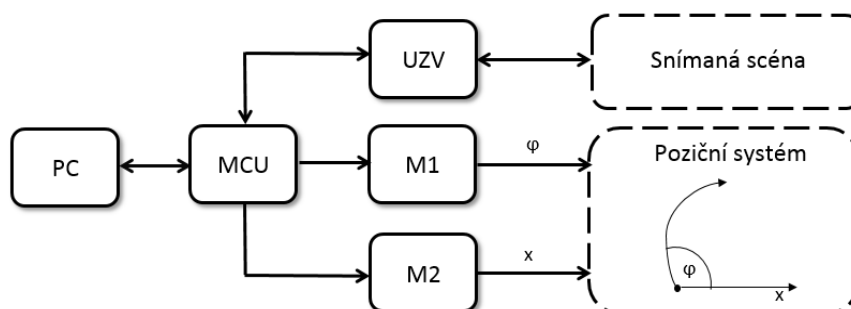
**Keywords:** Limb edema, positioning system, stepper motor, ultrasonic module, volume measurement.

## 1 ÚVOD

Určení rozsahu, progresu a regrese edému je možné na základě znalosti objemu postižené končetiny v daném čase. V současnosti je využíváno několik různých metod pro diagnostiku edémů, avšak tyto nejsou zcela vyhovující. Vysoká časová či finanční náročnost jsou nejčastější problémy, se kterými se lze v současné praxi setkat. Proto vzniká požadavek na systém, který by otoky dokázal vyhodnotit s vysokou přesností, za krátký časový úsek a při nižších finančních nákladech. Při použití ultrazvuku mohou být tyto požadavky splněny. Návrh systému sestává z části hardwarové, softwarové a zpracování signálu. Poziční systém má podobu ramene rotujícího kolem končetiny po půlkruhové trajektorii. Na rameni je umístěn ultrazvukový modul (dále jen UZV modul) snímající vzdálenost. Z té jsou následně vypočítány rozměry postižené oblasti.

## 2 HARDWAROVÁ REALIZACE

Následující blokové schéma znázorňuje jednotlivé komponenty navrhovaného přístroje, jejich vzájemné vazby a funkce:



**Obrázek 1:** Blokové schéma navrhovaného přístroje.

Hlavní součástí je mikrokontrolér (ve schématu jako MCU), který celý systém řídí a vyhodnocuje získaná data. Zapojení je realizováno na platformě Arduino. Krokové motory (M1, M2) i UZV modul (UZV) jsou s deskou Arduino plně kompatibilní, není tedy nutné použití dalších součástek. Napájení je v testovací fázi projektu řešeno přes USB-C (PC), které zajišťuje také propojení se sériovým monitorem, na němž lze sledovat měřené hodnoty.

## 2.1 POHYB MĚŘICÍ SOUSTAVY

Navrhovaný přístroj vykonává dva základní pohyby – lineární posun ramene o předem daný počet inkrementů a samotná rotace ramene okolo končetiny, přičemž pro oba pohyby je zásadní možnost dopředného i zpětného chodu. Řízeny jsou unipolárně s polovičním krokem – osmitaktní řízení, což zvyšuje jejich přesnost.

Ovládání motorku z desky Arduino je zajištěno driverem s tranzistorovým polem, který na základě signálu z mikrokontroléru generuje impulzy pro rotor. Ten pak vykonává rotaci dle požadovaného počtu kroků, rychlosti a směru.

## 2.2 MĚŘENÍ VZDÁLENOSTI

Princip měření vzdálenosti pomocí UZV modulu spočívá v měření časové prodlevy mezi vysláním akustického signálu a přijetím signálu odraženého od překážky – echa. V porovnání s jinými metodami měření vzdálenosti (např. pomocí laseru či IR senzoru) jsou hlavními výhodami využití ultrazvuku především bezpečnost, jednoduchost použití a nízká cena.

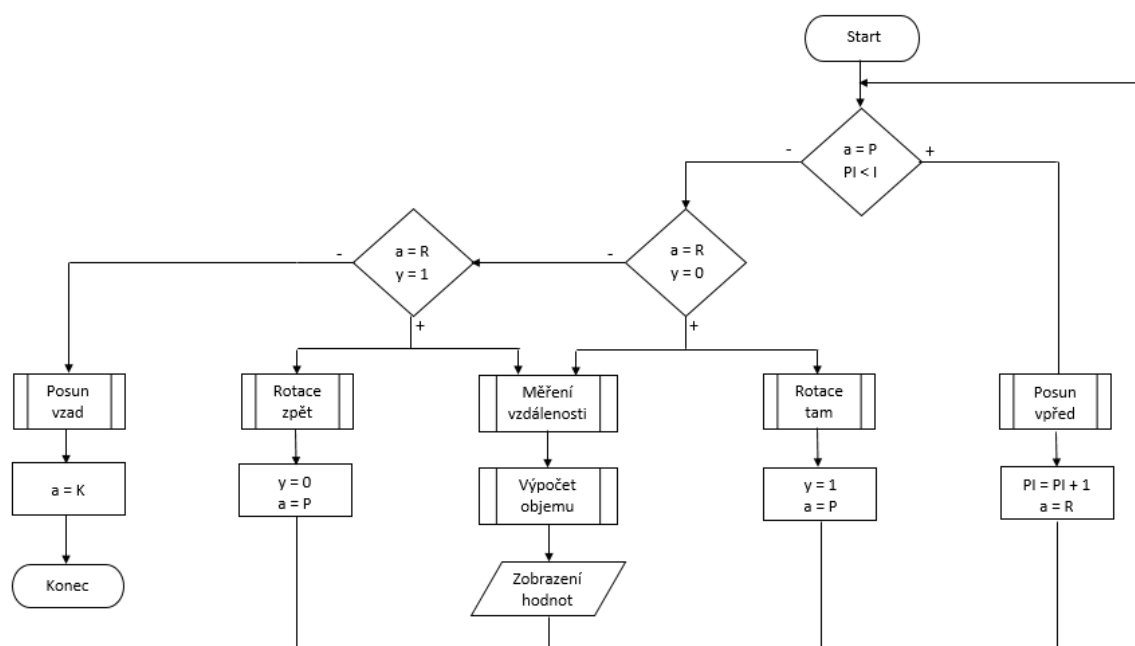
## 3 SOFTWAREVÉ ŘÍZENÍ

### 3.1 ŘÍZENÍ POHONU

Řízení obou motorků, pro posun i rotaci ramene, je řešeno velmi podobně. Definován je sled jednotlivých kroků motorku, časová prodleva mezi nimi, tedy rychlost otáčení, a úhel otočení, který vyplývá z převodového poměru konkrétního krokového motorku a skutečnosti, že je řízen osmitaktně.

### 3.2 ŘÍZENÍ UZV MODULU

Mikrokontrolér UZV modul nejen řídí, ale zároveň také okamžitě vyhodnocuje výsledky měření. Délka trvání echa je přímo úměrná dvojnásobku vzdálenosti k měřenému objektu. Ultrazvuk a jeho šíření jsou mimo jiné ovlivněny teplotou prostředí, proto je třeba zohlednit tento parametr i při výpočtu vzdálenosti. Teplotu na vyšetřovnách v nemocnicích není třeba uvažovat, neboť ta je vyhláškou stanovena na 24 °C, což odpovídá rychlosti šíření ultrazvuku 346,04 ms<sup>-1</sup>.



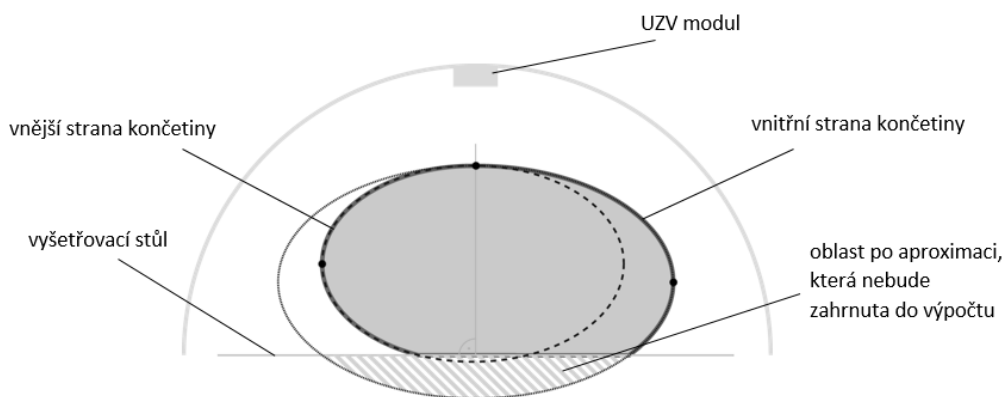
**Obrázek 2:** Vývojový diagram hlavního programu pro mikrokontrolér.

### 3.3 HLAVNÍ PROGRAM

Na počátku je nutné definovat počet inkrementů (kroků) pro dané měření, tzn. jak velkou část končetiny má měřicí jednotka nasnímat. Hlavní program probíhá ve smyčce vzájemně podmíněných úkonů. Z diagramu (**Obrázek 2**) je patrné, že program sestává ze čtyř skupin podprogramů, což odpovídá třem použitým komponentům připojeným k desce Arduino – posun vpřed a vzad, rotace tam a zpět, měření vzdálenosti a následnému zpracování naměřených hodnot při výpočtu rozměrů končetiny. Jakmile počítadlo inkrementů (v diagramu jako PI) dojde maxima daného počtem inkrementů (v diagramu jako I), je měření automaticky ukončeno a posuvný systém navrácen do výchozí polohy.

## 4 ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU Z UZV MODULU

Výpočet objemu končetiny v jednotlivých inkrementech a následně celé snímané oblasti je především otázkou vhodné aproximace tvaru průřezu. Výpočet vychází z principu Partial Frustum Model, kdy je tvar končetiny aproximován do komolého kužele. Nutno si uvědomit, že příčný řez končetinou se svým tvarem blíží spíše elipse než kruhu a že lidská končetina není s ohledem na uspořádání svalů, kostí či podkožního tuku osově souměrný objekt. Pro aproximaci řezu byly tedy nakonec zvoleny dvě elipsy dané vnitřní a vnější stranou končetiny, jejichž hlavní vrchol je shodný a osa, vedená tímto vrcholem, obě elipsy půlí (**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**). Délky poloos, které jsou základem výpočtu obsahu elipsy, lze určit pomocí detekce hlavního a vedlejších vrcholů (černé body v nákrese).



**Obrázek 3:** Řez končetinou během měření.

## 5 ZÁVĚR

Funkčnost návrhu systému spočívá ve třech klíkových bodech – měřicí přesnost UZV modulu, plynulost rotace a posunu a vytvoření co nejvěrnějšího modelu pro výpočet objemu. Přesnost UZV modulu byla testována na 60 zkušebních měřeních. Hodnota relativní chyby  $\delta \leq 0,5 \%$  byla shledána jako dostačující. Plynulost procesu měření je zaručena vzájemnou provázaností dílčích programů, které řídí motorky a UZV modul. A zvolený model eliptického komolého kužele představuje velmi přesnou aproximaci reálné lidské končetiny v příčném řezu.

## REFERENCE

- [1] Chromý, Adam et al. *Limb volume measurements: comparison of accuracy and decisive parameters of the most used present methods*. SpringerPlus (2015) 4:707. DOI: 10.1186/s40064-015-1468-7.
- [2] Švehla, Štefan a Zdenko Figura. *Ultrazvuk v technologii*. Bratislava: Alfa, 1984. ISBN 63-482-84.